



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 41 23 235 C 1

51 Int. Cl.⁵:
B 60 T 8/00
B 60 T 8/62

21 Akt nzeich n: P 41 23 235.6-21
22 Anmeldetag: 13. 7. 91
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 26. 11. 92

DE 41 23 235 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Mercedes-Benz Aktiengesellschaft, 7000 Stuttgart,
DE

72 Erfinder:

Zomotor, Adam, Dr.-Ing., 7050 Waiblingen, DE;
Klinkner, Walter, Dipl.-Ing., 7000 Stuttgart, DE;
Schindler, Erich, Dipl.-Ing., 7153 Weissach, DE;
Mohn, Frank-Werner, Dipl.-Ing., 7300 Esslingen, DE;
Wohland, Thomas, Dipl.-Ing., 7000 Stuttgart, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	39 19 347 A1
DE	38 40 456 A1
DE	36 25 392 A1
US	48 09 181

54 Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeuges

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeuges, bei dem aus gemessenen Größen (Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkradwinkel) ein Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} des Fahrzeuges gebildet wird, bei dem weiterhin aus wenigstens einem Sensorsignal der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} des Fahrzeuges gebildet wird, wobei die Differenz des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} und des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} gebildet wird, indem von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} subtrahiert wird und wobei aus dieser Differenz in einer Recheneinheit wenigstens ein von dieser auszugebendes Ausgangssignal generiert wird, das die detektierte Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeuges repräsentiert, wobei in Abhängigkeit dieses Ausgangssignals eine Variation des Bremsdruckes einzelner Räder des Fahrzeuges erfolgt, wobei die zeitliche Ableitung der Differenz gebildet wird, wobei in der Recheneinheit das Ausgangssignal in Abhängigkeit dieser zeitlichen Ableitung generiert wird, wobei das Ausgangssignal eine Information darüber enthält, ob das Fahrzeug ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten aufweist, wobei bei einem übersteuernden Fahrverhalten bei dem kurvenäußeren Vorderrad des Fahrzeuges der Bremsdruck erhöht wird und wobei bei einem untersteuernden Fahrverhalten bei dem kurveninneren ...

DE 41 23 235 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Aus der DE 39 19 347 A1 ist bereits ein gattungsgemäßes Verfahren bekannt, wonach bei einem Fahrzeug der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit erfaßt und mit einem abgeleiteten Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit verglichen wird. Aus diesem Vergleich wird dann auf ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten des Fahrzeugs geschlossen. Es wird dann ein neutrales Fahrverhalten erreicht, indem die Räder der kurveninneren bzw. kurvenäußeren Fahrzeugsseite entsprechend stärker gebremst werden.

Weiterhin ist aus der DE 36 25 392 A1 ein Verfahren bekannt, wonach zur Detektierung der Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs die Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} eines Fahrzeugs beispielsweise mittels eines faseroptischen Kreisel gemessen wird. Eine alternative Möglichkeit zur Bestimmung des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} ist dadurch gegeben, daß die Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} durch Verwendung mindestens eines Beschleunigungssensors abgeleitet wird, der die Radialbeschleunigung des Fahrzeugs mißt. Weiterhin wird aus der gemessenen Geschwindigkeit des Fahrzeugs in Längsrichtung sowie dem gemessenen Lenkwinkel ein Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} abgeleitet. Dabei wird dann eine kritische Fahrsituation abgeleitet, wenn der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} abweicht, d. h., wenn das Istverhalten des Fahrzeugs gegenüber dem Sollverhalten des Fahrzeugs abweicht. Diese detektierte Abweichung des Istverhaltens von dem Sollverhalten des Fahrzeugs wird dann verwendet, um die Abweichung des Istverhaltens des Fahrzeugs von dem Sollverhalten des Fahrzeugs zu minimieren, indem ein automatischer Eingriff in die Lenkung erfolgt und/oder indem einzelne Räder des Fahrzeugs derart gebremst oder beschleunigt werden, daß die Abweichung minimiert wird.

Aus der DE 38 40 456 A1 ist es bekannt, den Schlupf und die Schräglaufwinkel der Räder eines Fahrzeugs zu messen oder zu beobachten. Anhand dieser Größen wird dann abgeleitet, ob das Fahrzeug übersteuert oder untersteuert. Im Falle, daß das Fahrzeug übersteuert, wird der Schlupfwert am kurvenäußeren Vorderrad erhöht. Im Falle eines untersteuernden Fahrverhaltens wird dann der Schlupfwert am kurvenäußeren Vorderrad erniedrigt.

Aus der US-PS 48 09 181 ist es bekannt, ein untersteuerndes bzw. übersteuerndes Fahrverhalten eines Fahrzeugs auszugleichen, indem bei einem übersteuernden Fahrverhalten der Schlupfwert der Räder an der Hinterachse reduziert wird und bei einem untersteuernden Fahrverhalten der Schlupfwert der Räder an der Vorderachse.

Aus anderen Literaturstellen ist ein sogenanntes lineares Einspurmodell eines Fahrzeugs bekannt (DE-Buch: Zomotor, Adam; Fahrwerktechnik: Fahrverhalten; Herausgeber: Jörnßen Reimpell; Würzburg, Vogel, 1987; 1. Auflage; ISBN 3-8023-0774-7, insbesondere Seiten 99—127), mit dem beispielsweise aus gemessenen Werten der Fahrzeuggeschwindigkeit in Fahrzeuglängsrichtung und dem Lenkwinkel bzw. den damit korrespondierenden Lenkwinkeln der Räder eine sich unter bestimmten Bedingungen einstellende Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} des Fahrzeugs ermittelt werden kann, die dann unter Zugrundelegung dieses Modells als

Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} verwendet wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs derart auszubilden, daß Instabilitäten des Fahrverhaltens möglichst frühzeitig verhindert werden.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, wobei die Merkmale der Unteransprüche vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen kennzeichnen.

Vorteile der Erfindung bestehen darin, daß durch das frühzeitige Detektieren der Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs bereits sehr frühzeitig instabile Fahrzustände erkannt werden können. Somit ist es möglich, bereits sehr frühzeitig durch eine Variation bzw. den Aufbau von Bremsdruck zur Veränderung des Schlupfes σ an einzelnen Rädern das mögliche Auftreten instabiler Fahrzustände zu verhindern.

Mittels geeigneter Sensoren werden die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit und der Lenkwinkel bzw. der Lenkwinkel der Räder erfaßt. Diese Sensorsignale können dann einer Recheneinheit zugeführt werden, in der aus diesen Größen dann beispielsweise nach dem genannten linearen Einspurmodell eine von dem Fahrzeugführer gewünschte Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} des Fahrzeugs als Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} ermittelt werden kann. In der Recheneinheit erfolgt dann eine Detektion der Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens, indem der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} mit dem ermittelten Sollwert μ_{soll} verglichen wird. Dabei wird nicht nur der Betrag der Differenz des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} von dem Sollwert μ_{soll} betrachtet, sondern auch das Vorzeichen dieser Differenz sowie die zeitliche Ableitung dieser Differenz. Insbesondere durch die Berücksichtigung der zeitlichen Ableitung ist eine besonders frühzeitige Erkennung des möglichen Auftretens kritischer Fahrzustände möglich, so daß dann durch eine entsprechende Variation bzw. den Aufbau von Bremsdruck zur Variation des Schlupfes σ an einzelnen Rädern bereits das Auftreten kritischer Fahrzustände verhindert werden kann.

Bei einem übersteuernden Fahrverhalten (das Fahrzeug dreht in die Kurve ein) wird dabei das kurvenäußere Vorderrad gebremst. Der Abbau der Seitenführungskraft und der Aufbau der Bremskraft in Umfangsrichtung bewirken ein rückdrehendes Giermoment des Fahrzeugs. Das Übersteuerverhalten des Fahrzeugs wird abgebaut. Gegebenenfalls wird durch das zusätzliche Bremsen auch des kurveninneren Rades der stabilisierende Effekt verstärkt, da zwar die Bremskraft in Umfangsrichtung den Eindrehvorgang unterstützt, der Abbau der Seitenführungskraft des kurveninneren Rades den Effekt jedoch nicht nur ausgleicht, sondern — wegen der Hebelarme der angreifenden Kräfte — überkompensiert und das Fahrzeug somit zusätzlich stabilisiert.

Bei einem untersteuernden Fahrverhalten (das Fahrzeug ist gierunwillig, d. h., es folgt nicht dem durch den Fahrzeugführer vorgegebenen Lenkeinschlag) wird das kurveninnere Hinterrad gebremst. Der Abbau der Seitenführungskraft dieses Rades und der Aufbau der Bremskraft in Umfangsrichtung bewirken ein eindrehendes Giermoment. Gegebenenfalls kann hier das kurvenäußere Hinterrad zusätzlich gebremst werden. Analog dem o. g. Kriterium für das Abbremsen des kurven-

inneren Vorderrades bei einem übersteuernden Fahrverhalten ist dies dann zweckmäßig, wenn das Produkt aus Seitenkraftverlust und zugehörigem Hebelarm zum Schwerpunkt größer ist als das Produkt aus Bremskraft in Umfangsrichtung und zugehörigem Hebelarm zum Schwerpunkt.

Nähert sich der Istwert μ_{ist} der Giergeschwindigkeit dem Sollwert μ_{soll} , so werden die Bremskräfte entsprechend abgebaut.

Alternativ zur Bestimmung des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} mittels des linearen Einspurmodells besteht auch die Möglichkeit, diesen Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} aus einem einmal vermessenen Kennfeld auszulesen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 eine Darstellung der Sensoren und der Recheneinheit,

Fig. 2 die Darstellung des ersten Teils des Ablaufdiagramms, nach dem der Fahrzustand detektiert wird,

Fig. 3 die Darstellung des zweiten Teils des Ablaufdiagramms, nach dem der Fahrzustand detektiert wird,

Fig. 4 die Darstellung der Kraft F_{L1} in Längsrichtung des Rades und der Seitenführungskraft F_S und der Bereich, in dem σ_{soll} variiert werden soll,

Fig. 5 die Darstellung einer Recheneinrichtung, mittels der das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann,

Fig. 6 die Darstellung der Kriterien für den Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 7 eine Darstellung der Variation des Sollschlupfes σ_{soll} aus Fahrzustandskriterien,

Fig. 8 eine Darstellung der Berücksichtigung der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Parameter KPE, KDE, a und b,

Fig. 9 eine Darstellung der Berücksichtigung der Reibbeiwertsabhängigkeit der Parameter KPE, KDE, a und b,

Fig. 10 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens,

Fig. 11 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 12 eine Darstellung der Bremsschlupfabenkung anstelle einer Bremsschlupferhöhung.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, wird der Recheneinheit 1 das Signal eines Sensors 2 zugeführt, das die Fahrzeuggeschwindigkeit repräsentiert. Dieser Sensor kann beispielsweise ein Drehzahlsensor sein, wie er bei bekannten AntiBlockiersystemen (ABS) Anwendung findet. Ebenso ist es möglich, daß der Sensor 2 mehreren Drehzahlsensoren verschiedener Räder entspricht, deren Signale gemittelt werden. Mittels eines Sensors 3 wird der Recheneinheit 1 ein Signal zugeführt, das den Lenkwinkel repräsentiert. Dieser Sensor 3 kann somit unmittelbar ein Lenkwinkelsensor sein. Ebenso kann dieser Sensor 3 auch ein Sensor sein, der den Lenkwinkel eines der Räder des Fahrzeugs 10 oder einen Mittelwert der Lenkwinkel der Räder des Fahrzeugs 10 erfaßt. Weiterhin wird der Recheneinheit 1 das Signal wenigstens eines weiteren Sensors 4 zugeführt, mittels dem dann in der Recheneinheit der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} gebildet werden kann. Dabei kann dieser Sensor 4 beispielsweise die Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} unmittelbar messen.

In der Recheneinheit 1 wird aus den Signalen der Sensoren 2 und 3 in dem Teil 6 der Recheneinheit 1 beispielsweise mittels des linearen Einspurmodells ein

Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} ermittelt. Dieser Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} wird mit dem gebildeten Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} dahingehend verglichen, daß die Differenz zwischen dem Sollwert und dem Istwert gebildet wird. In dem Teil 5 der Recheneinheit wird dann unter Verwendung der zeitlichen Ableitung 8 der Differenz die Fahr situation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs 10 detektiert und ein Ausgangssignal 7 generiert, das die detektierte Fahr situation repräsentiert.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, kann in der Recheneinheit 1 eine Detektion des Fahrzustandes auch erfolgen, indem die Differenz des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} von dem Sollwert μ_{soll} dahingehend ausgewertet wird, daß auf ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten geschlossen wird. Dazu wird die Differenz gebildet, indem von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} subtrahiert wird. Diese Differenz wird in der Recheneinheit 1 mit dem Vorzeichen des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} multipliziert (301), woraus sich ein Ergebnis MULT ergibt. Mittels dieses Ergebnisses MULT kann ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten abgeleitet werden (302). Ist diese Größe MULT positiv, so ist der Betrag des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} größer als der Betrag des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} , wobei die Vorzeichen von Sollwert μ_{soll} und Istwert μ_{ist} jedoch gleich sind. Das Fahrzeug 10 schiebt in diesem Fall über die Vorderachse. Dieses gierenwillige Verhalten wird als Untersteuern bezeichnet. Ist die Größe MULT negativ, so ist der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} größer als der Sollwert μ_{soll} oder der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} und der Sollwert μ_{soll} haben unterschiedliche Vorzeichen. Dieses Verhalten, bei dem das Fahrzeug 10 eine größere Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} aufweist als der Fahrzeugführer erwartet, wird als Übersteuern bezeichnet. Ein Ausgangssignal 7 kann dabei beispielsweise gebildet werden, indem zusätzlich zu der zeitlichen Ableitung 8 auch die Größe MULT bei der Generierung des Ausgangssignals 7 berücksichtigt wird, indem beispielsweise ein zusätzliches Ausgangssignal 7 nur in Abhängigkeit der Größe MULT generiert wird.

Weiterhin wird gemäß dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 eine Größe DIFF bestimmt, indem die zeitliche Ableitung 8 der Differenz mit dem Vorzeichen des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} und mit dem Vorzeichen der Größe MULT multipliziert wird. Sowohl im Falle des Untersteuerns als auch im Falle des Übersteuerns weist diese Größe DIFF einen positiven Wert auf, wenn eine Instabilitätszunahme auftritt, d. h., wenn sich die Tendenz zum Übersteuern bzw. zum Untersteuern verstärkt. Entsprechend nimmt die Größe DIFF einen negativen Wert an, wenn sich die Tendenz zum Untersteuern bzw. zum Übersteuern abschwächt. Es ist somit möglich, mittels einer Abfrage der Größe DIFF eine Instabilitätszunahme bzw. Instabilitätsabnahme zu erkennen.

Fig. 4 zeigt die Bremskraft F_{L1} , die in Längsrichtung des Rades wirkt, aufgetragen über dem Bremsschlupf σ . Ebenso ist die Seitenführungskraft F_S über dem Bremsschlupf σ aufgetragen. Der Punkt σ_{max} kennzeichnet den Punkt, an dem die maximale Kraft in Längsrichtung des Rades übertragen wird. Weiters ist zu sehen, daß bei diesem Punkt die zugehörige Seitenführungskraft F_S schon relativ stark abgefallen ist. Allgemein ist der Fig. 4 zu entnehmen, daß durch einen Aufbau bzw. eine

Variation im Sinne einer Vergrößerung des Bremsdruckes, wodurch wiederum eine Vergrößerung des Bremsschlupfes σ erzielt wird, eine zunächst zunehmende Bremskraft F_U in Umfangsrichtung erzielt wird bis zum Punkt σ_{\max} , die dann allerdings einen schwachen Abfall aufweist bzw. (bei niedrigeren Reibbeiwerten β — hier nicht dargestellt) konstant bleibt. Die Seitenführungskraft F_S nimmt dabei gemäß der Darstellung der Fig. 4 mit zunehmendem Bremsschlupf σ streng monoton ab. Somit bewirkt also eine Erhöhung des Bremsdruckes in jedem Fall einen Abbau der Seitenführungskraft F_S und bis zum Erreichen des Schlupfes σ_{\max} eine Erhöhung der Bremskraft F_U in Umfangsrichtung. Außerdem ist dargestellt, daß bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Variation des Sollwertes des Schlupfes σ_{soll} erfolgen soll, durch die eine Beeinflussung der Seitenführungskraft F_S und der in Längsrichtung des Rades wirkenden Bremskraft F_U erfolgt.

Fig. 5 zeigt die Darstellung einer Recheneinrichtung 501, der das Ausgangssignal 7 der Recheneinheit 1 (siehe Fig. 1) zugeführt wird, das den detektierten Fahrzeugzustand bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs repräsentiert. In Abhängigkeit dieses Ausgangssignals 7 wird in der Recheneinrichtung 501 ein Sollwert für den Bremsschlupf σ_{soll} der einzelnen Räder ermittelt, der als Ausgangssignal 502 von der Recheneinrichtung 501 ausgegeben wird. Zur Erzielung dieses Bremsschlupfes σ_{soll} wird dann ein entsprechend variiertes Bremsdruck p_B eingesteuert. Dabei wird der Sollwert des Bremsschlupfes σ_{soll} eingeregelt. Um ein möglichst optimales Zeitverhalten bei der Verhinderung von Instabilitäten des Fahrzeugs 10 zu erzielen, wird bei der Variation des Sollschlupfes σ_{soll} vorteilhaft die zeitliche Änderung des Gierverhaltens des Fahrzeugs berücksichtigt. Aus der zeitlichen Änderung wird dabei abgeleitet, ob eine Instabilitätszunahme vorliegt oder eine Instabilitätsabnahme. Bei einer Instabilitätszunahme erfolgt dabei eine entsprechend schnellere Zunahme bzw. eine entsprechend stärkere Variation des Sollschlupfes σ_{soll} . In der Recheneinrichtung 501 werden die entsprechend den Fig. 2 und 3 ermittelten Größen MULT und DIFF ausgewertet. In der Recheneinrichtung 501 kann daraus ein Kriterium für die Variation des Sollschlupfes σ_{soll} abgeleitet werden. Beispielsweise kann ein Einschaltkriterium ESK gebildet werden, indem der Absolutwert der Größe MULT mit einer Proportionalitätskonstanten KPE multipliziert wird und indem die Größe DIFF mit einer Proportionalitätskonstanten KDE multipliziert wird. Das Einschaltkriterium ESK ergibt sich dann als Summe der beiden Produkte und wird von der Recheneinrichtung 1 als Ausgangssignal 503 ausgegeben. Ein Aufbau bzw. eine Variation des Bremsdruckes p_B zur Regelung eines Sollwertes des Schlupfes σ_{soll} erfolgt, sobald das Einschaltkriterium ESK einen bestimmten Schwellwert ESK_{Schwelle} übersteigt und endet, sobald das Einschaltkriterium ESK einen bestimmten Schwellwert ASK_{Schwelle} unterschreitet. In vorteilhafter Weise können die Proportionalitätskonstanten KPE und KDE noch von der Fahrzeuggeschwindigkeit v und von dem Reibbeiwert β abhängen, wie den Fig. 8 und 9 zu entnehmen.

Fig. 6 ist eine Darstellung des Einschaltkriteriums ESK im Verhältnis zu den zugehörigen Schwellwerten ESK_{Schwelle} und ASK_{Schwelle} zu entnehmen. Dabei ist das Kriterium ESK über der Zeit t aufgetragen. Im folgenden wird bei der Beschreibung der Fig. 6 der Fall beschrieben, daß das Fahrzeug nicht von dem Fahrzeugführer gebremst wurde, d. h., daß die Bremse ein-

zelner Räder aktiviert wird. Entsprechend ergeben sich dann die Verhältnisse bei der Reduktion der Bremskraft an den einzelnen Rädern zur Ansteuerung eines bestimmten Schlupfsollwertes σ_{soll} bei einem Bremsvorgang. Überschreitet die Größe ESK zum Zeitpunkt t_1 den Wert $ESK_{\text{Schwelle } 1}$, so wird zunächst ein Rad gebremst. Überschreitet die Größe ESK zum Zeitpunkt t_2 den Wert $ESK_{\text{Schwelle } 2}$, so wird zusätzlich das andere Rad derselben Achse gebremst. Analog erfolgt eine Bremsung wiederum lediglich nur eines — nämlich des zuerst gebremsten — Rades, wenn die Größe ESK zum Zeitpunkt t_3 einen Wert $ASK_{\text{Schwelle } 2}$ unterschreitet. Es erfolgt keine Bremsung mehr, wenn die Größe ESK zum Zeitpunkt t_4 einen Wert $ASK_{\text{Schwelle } 1}$ unterschreitet. Außerdem sind die Werte $ASK_{\text{Schwelle } 1}$ und $ASK_{\text{Schwelle } 2}$ in vorteilhafter Weise um einen solchen Betrag kleiner als die Werte $ESK_{\text{Schwelle } 1}$ und $ESK_{\text{Schwelle } 2}$, daß nicht unmittelbar nach einem Ende eines Eingriffs in die Bremse sofort wieder ein Eingriff in die Bremse erfolgt. Dabei kann ein Wert für $ESK_{\text{Schwelle } 1}$ insbesondere bei 5 liegen und ein Wert für $ASK_{\text{Schwelle } 1}$ bei 4. Mögliche Werte für $ESK_{\text{Schwelle } 2}$ sowie $ASK_{\text{Schwelle } 2}$ können dabei 15 und 12 sein. Die Einschalt- und Ausschaltsschwellen können sich zusätzlich unterscheiden, je nachdem, ob es sich um ein Untersteuern ($MULT > 0$) oder ein Übersteuern ($MULT < 0$) handelt.

Der Bremsschlupf σ_{soll} kann dabei auch in Abhängigkeit von dem detektierten Fahrzeugzustand variieren. Entsprechend der Darstellung der Fig. 7 kann diese Variation nach folgender Gleichung derart erfolgen, daß sich ein Sollwert des Bremsschlupfes σ_{soll} einstellt:

$$\sigma_{\text{soll}} = a \cdot MULT + b.$$

Im Falle des Übersteuerns ($MULT < 0$) kann a den Wert $0,13 \text{ s/1}^\circ$ und b den Wert $0,56$ annehmen, wobei σ_{soll} auf den Wert von $-0,7$ begrenzt sein kann; im Falle des Untersteuerns kann a den Wert 0 und b den Wert $-0,07$ annehmen. Der Aufbau bzw. die Variation im Sinne einer Vergrößerung des Bremsdruckes p_B zur Erzielung eines größeren Wertes des Bremsschlupfes σ erfolgt beim Übersteuern zunächst an dem kurvenäußeren Vorderrad und beim Untersteuern zunächst an dem kurveninneren Hinterrad. Dies kann unterstützt werden durch einen Aufbau von Bremsdruck zur Erzielung eines größeren Bremsschlupfes σ an dem kurveninneren Vorderrad beim Übersteuern und den Aufbau von Bremsdruck zur Erzielung eines größeren Bremsschlupfes σ an dem kurvenäußeren Hinterrad beim Untersteuern. Diese Unterstützung kann entweder sofort erfolgen oder vorzugsweise entsprechend den in Fig. 6 dargestellten Kriterien. Wenn das Fahrzeug bereits gebremst wird, erfolgt eine Überlagerung des Schlupfschwellwertes σ_{soll} entsprechend der Darstellung der Fig. 7 zu dem Bremsschlupf, der sich aufgrund des Bremsvorganges eingestellt hat.

Fig. 8 ist zu entnehmen, daß die Größen KPE und KDE in einer vorteilhaften Ausführungsform mit der Fahrzeuggeschwindigkeit v variiert werden können. Dabei nehmen die entsprechenden Größen bei der Fahrzeuggeschwindigkeit $v = 0 \text{ km/h}$ folgende Werte an: $KPE = 0,5 \text{ s/1}^\circ$, $KDE = 0,05 \text{ s}^2/\text{1}^\circ$ und bei der Fahrzeuggeschwindigkeit $v = 100 \text{ km/h}$ $KPE = 1,0 \text{ s/1}^\circ$, $KDE = 0,1 \text{ s}^2/\text{1}^\circ$. Diese Werte gelten für einen angenommenen Reibbeiwert $\beta = 1$. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, daß mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit instabile Fahrzeugzustände begünstigt werden können.

Fig. 9 ist zu entnehmen, daß in einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Faktoren KPE und KDE mit dem Reibbeiwert β geändert werden können. Diese Änderung sieht dabei so aus, daß mit steigendem Reibbeiwert β die Faktoren KPE und KDE abnehmen, wobei im Bereich niedriger Reibbeiwerte β eine stärkere Abnahme der Faktoren KPE und KDE erfolgen kann als im Bereich größerer Reibbeiwerte β . Größenordnungen für die Faktoren KPE und KDE ergeben sich dann entsprechend folgender Tabelle:

v (km/h)	β	KPE (s/1°)	KDE (s²/1°)
0	1	0,5	0,05
100	1	1,0	0,1
0	0,3	1,0	0,1
100	0,3	2,0	0,2

Dadurch wird der Tatsache Rechnung getragen, daß bei abnehmenden Reibbeiwerten instabile Fahrzustände begünstigt werden können.

Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Hydraulikkreises eines Bremssystems unter Verwendung von 3/3-Ventilen. Ein Bremspedal 1001 mit zugehörigen Bremskraftverstärker 1002 ist mit einem Hauptbremszylinder 1003 und der Bremsflüssigkeit verbunden. Im folgenden wird der Hydraulikkreis lediglich für die Vorderräder beschrieben. Der Aufbau des Hydraulikkreises für die Hinterräder ist analog. Die entsprechenden korrespondierenden Bauteile des Hydraulikkreises der Hinterräder werden daher im folgenden in Klammern angegeben. Wird durch den Fahrzeugführer das Bremspedal betätigt, so fließt infolge des Druckaufbaus Bremsflüssigkeit durch die Leitung 1004 (1005) und das Ventil 1006 (1007), das derart beschaltet ist, daß es die Leitung 1004 (1005) mit der Leitung 1008 (1009) verbindet. Vorausgesetzt, die Ventile 1010, 1012 (1011, 1013) sind derart beschaltet, daß die Leitung 1008 (1009) mit den Leitungen 1014, 1016 (1015, 1017) verbunden sind, kommt es somit zu einem Druckanstieg in den Radbremszylindern. Wird die Betätigung des Bremspedals beendet, so fließt die Bremsflüssigkeit auf dem umgekehrten Weg wieder in den Hauptbremszylinder 1003 zurück. Diese Funktion entspricht einem normalen Bremsvorgang.

Soll nun beispielsweise das linke Vorderrad VL (HL) gebremst werden, ohne daß der Fahrzeugführer das Bremspedal betätigt, so ergibt sich die Ansteuerung der Bauteile des Hydraulikkreises wie folgt. Mittels mehrerer Pumpen 1023, 1024 wird Bremsflüssigkeit aus einem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter 1026 in einen Druckspeicher 1025 gepumpt. Das Ventil 1006 (1007) wird so beschaltet, daß die Leitung 1027 (1028) mit der Leitung 1008 (1009) verbunden ist. Dadurch ist das Bremspedal abgekoppelt, und die Radbremszylinder können bei entsprechender Beschaltung der Ventile mit dem Druckspeicher 1025 verbunden werden. Ist das Ventil 1010 (1011) so beschaltet, daß die Leitung 1008 (1009) mit der Leitung 1014 (1015) verbunden ist, erfolgt ein Druckanstieg in dem Radbremszylinder. Erfolgt die Druckbeaufschlagung der Radbremszylinder wie eben beschrieben aus dem Druckspeicher 1025, so erfolgt der Druckabbau analog dem Fall, daß ein Bremsvorgang durch ein Anti-BlockierSystem (ABS) geregelt wird. Das Ventil 1010 (1011) kann dabei in eine Stellung "Druckhalten" geschaltet werden, die bewirkt, daß die Leitung 1014

(1015) keine Verbindung zu anderen Leitungen aufweist, d. h., daß der Druck zum Rad konstant bleibt. In einer dritten Stellung kann das Ventil 1010 (1011) so beschaltet werden, daß die Leitung 1014 (1015) mit der Leitung 1018 (1019) verbunden wird. Durch den Betrieb der Rückförderpumpe 1022 wird die Bremsflüssigkeit dann in die Leitung 1008 (1009) zurückgefördert. Bei der entsprechenden Stellung des Ventils 1006 (1007) wird die Bremsflüssigkeit dann wieder in den Speicher 1025 zurückgefördert. Der Bremsdruck in der Leitung 1014 (1015) sinkt, der Bremsschlupf verringert sich.

Wie Fig. 11 zu entnehmen, wird ein Übersteuern bzw. ein Untersteuern festgestellt, indem die Größe MULT in dem Schritt 1101 dahingehend ausgewertet wird, daß in dem Schritt 1101 eine Überprüfung erfolgt, ob die Größe MULT kleiner als 0 ist (übersteuerndes Fahrverhalten) oder ob die Größe MULT größer als 0 ist (untersteuerndes Fahrverhalten). Bei einem übersteuernden Fahrverhalten wird entsprechend dem Schritt 1102 der Bremsschlupf des kurvenäußeren Vorderrades erhöht bzw. der Bremsschlupf des kurveninneren Hinterrades verringert. Bei einem untersteuernden Fahrverhalten wird entsprechend dem Schritt 1103 der Bremsschlupf des kurveninneren Hinterrades erhöht bzw. der Bremsschlupf des kurvenäußeren Vorderrades erniedrigt.

Um dabei gemäß der Darstellung in Fig. 12 die gewünschte Gierreaktion weiter zu begünstigen, wird dabei Bremsdruck an einzelnen Rädern aufgebaut und zusätzlich Bremsdruck an einzelnen Rädern abgebaut. Die Verhältnisse sind dabei analog der Darstellung zu der Fig. 12. Der Abbau des Bremsdruckes p_{Bab} kann dabei an dem Rad erfolgen, das dem Rad diagonal gegenüberliegt, an dem in dem Beispiel der Fig. 12 ein Aufbau des Bremsdruckes p_{Bauf} erfolgt. Das Ausmaß der Reduktion des Bremsdruckes kann dabei derart sein, daß sich eine Abnahme des Bremsschlupfes in Umkehrung der Verhältnisse der Darstellung entsprechend der Fig. 7 ergibt, d. h., daß der Sollwert des Bremsschlupfes σ_{Soll} linear mit der Größe MULT abnimmt. Die Parameter a und b der Gleichung lauten in diesem Fall

$$a = -0,004 \text{ s/1}^\circ \text{ und } b = -0,04.$$

Das bedeutet also, daß beim Übersteuern der Bremsschlupf am kurveninneren Hinterrad reduziert wird und beim Untersteuern der Bremsschlupf am kurvenäußeren Vorderrad. Auch hierbei kann zur Unterstützung beim Übersteuern auch der Bremsschlupf an dem kurvenäußeren Hinterrad und beim Untersteuern der Bremsschlupf an dem kurveninneren Vorderrad reduziert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs, bei dem aus gemessenen Größen (Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkradwinkel) in einer Recheneinheit ein Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{Soll} des Fahrzeugs gebildet wird, bei dem der Recheneinheit weiterhin wenigstens ein Sensorsignal zugeführt wird, aus dem der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{Ist} des Fahrzeugs gebildet wird, wobei in der Recheneinheit die Differenz des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{Soll} und des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{Ist} gebildet wird, indem von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{Soll} der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit

keit μ_{ist} subtrahiert wird und wobei aus dieser Differenz in der Recheneinheit wenigstens ein von dieser auszugebendes Ausgangssignal generiert wird, das die detektierte Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs repräsentiert, wobei das Ausgangssignal eine Information darüber enthält, ob das Fahrzeug ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten aufweist und wobei in Abhängigkeit dieses Ausgangssignals eine Variation des Bremsschlupfes einzelner Räder des Fahrzeugs erfolgt, dadurch gekennzeichnet,

- daß in der Recheneinheit (1) die zeitliche Ableitung (8) der Differenz gebildet wird, wobei in der Recheneinheit (1) das Ausgangssignal (7) in Abhängigkeit dieser zeitlichen Ableitung (8) generiert wird,
- daß bei einem übersteuernden Fahrverhalten bei dem kurvenäußeren Vorderrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erhöht wird (1102) und
- daß bei einem untersteuernden Fahrverhalten bei dem kurveninneren Hinterrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erhöht wird (1103).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- daß bei einem übersteuernden Fahrverhalten insbesondere in Abhängigkeit des Fahrverhaltens des Fahrzeugs (10) zusätzlich bei dem kurveninneren Vorderrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erhöht wird und
- daß bei einem untersteuernden Fahrverhalten insbesondere in Abhängigkeit des Fahrverhaltens des Fahrzeugs (10) zusätzlich bei dem kurvenäußeren Hinterrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erhöht wird.

3. Verfahren zur Verhinderung von Instabilitäten des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs, bei dem aus gemessenen Größen (Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkradwinkel) in einer Recheneinheit ein Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} des Fahrzeugs gebildet wird, bei dem der Recheneinheit weiterhin wenigstens ein Sensorsignal zugeführt wird, aus dem der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} des Fahrzeugs gebildet wird, wobei in der Recheneinheit die Differenz des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} und des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} gebildet wird, indem von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} subtrahiert wird und wobei aus dieser Differenz in der Recheneinheit wenigstens ein von dieser auszugebendes Ausgangssignal generiert wird, das die detektierte Fahrsituation bzgl. des Gierverhaltens des Fahrzeugs repräsentiert, wobei das Ausgangssignal eine Information darüber enthält, ob das Fahrzeug ein untersteuerndes oder ein übersteuerndes Fahrverhalten aufweist, wobei in Abhängigkeit dieses Ausgangssignals eine Variation des Bremsschlupfes einzelner Räder des Fahrzeugs erfolgt, dadurch gekennzeichnet,

- daß in der Recheneinheit (1) die zeitliche Ableitung (8) der Differenz gebildet wird, wobei in der Recheneinheit (1) das Ausgangssignal (7) in Abhängigkeit dieser zeitlichen Ableitung (8) generiert wird,
- daß bei einem Bremsvorgang bei einem übersteuernden Fahrverhalten bei dem kur-

veninneren Hinterrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erniedrigt wird (1102) und

- daß bei einem untersteuernden Fahrverhalten bei dem kurvenäußeren Vorderrad des Fahrzeugs (10) der Bremsschlupf erniedrigt wird (1103).

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

- daß bei einem Bremsvorgang bei einem übersteuernden Fahrverhalten zusätzlich der Bremsschlupf bei dem kurveninneren Hinterrad des Fahrzeugs (10) erniedrigt wird, wenn die Vorderräder des Fahrzeugs (10) einen Schlupf-schwellwert, insbesondere den Schlupf-schwellwert eines AntiBlockierSystems (ABS), erreichen und
- daß bei einem Bremsvorgang bei einem untersteuernden Fahrverhalten der Bremsschlupf bei dem kurvenäußeren Vorderrad des Fahrzeugs (10) erniedrigt wird, wenn die Hinterräder des Fahrzeugs (10) einen Schlupf-schwellwert, insbesondere den Schlupf-schwellwert eines AntiBlockierSystems (ABS), erreichen.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß bei einem Bremsvorgang bei einem übersteuernden Fahrverhalten zusätzlich der Bremsschlupf bei dem kurvenäußeren Hinterrad des Fahrzeugs (10) erniedrigt wird und
- daß bei einem Bremsvorgang bei einem untersteuernden Fahrverhalten zusätzlich der Bremsschlupf bei dem kurveninneren Vorderrad des Fahrzeugs (10) erniedrigt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

- daß in der Recheneinheit (1) eine Größe MULT bestimmt wird, indem die Differenz des Sollwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} und des Istwertes der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} gebildet wird, indem von dem Sollwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{soll} der Istwert der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} subtrahiert wird und wobei diese Differenz mit dem Vorzeichen der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} multipliziert wird (301) und daß ein ein untersteuerndes Fahrverhalten des Fahrzeugs (10) repräsentierendes Ausgangssignal (7) generiert wird, wenn die Größe MULT größer als Null ist und daß ein ein übersteuerndes Fahrverhalten des Fahrzeugs (10) repräsentierendes Ausgangssignal (7) generiert wird, wenn die Größe MULT kleiner als Null ist (302), und

- daß in der Recheneinheit (1) eine Größe DIFF bestimmt wird, indem die zeitliche Ableitung (8) der Differenz mit dem Vorzeichen der Gierwinkelgeschwindigkeit μ_{ist} und mit dem Vorzeichen der Größe MULT multipliziert wird (401) und daß ein eine Instabilitätszunahme repräsentierendes Ausgangssignal (7) generiert wird, wenn die Größe DIFF größer ist als Null und daß ein eine Instabilitätsabnahme repräsentierendes Ausgangssignal (7) generiert wird, wenn die Größe DIFF kleiner ist als Null (402).

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

— daß die Erhöhung bzw. Erniedrigung des Bremsschlupfes um einen solchen Betrag erfolgt, daß sich eine Schlupfdifferenz einstellt, die abhängig von der Größe MULT ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 5
dadurch gekennzeichnet,

— daß ein Kriterium ESK für den Einsatz der Erhöhung bzw. der Erniedrigung des Bremsschlupfes einzelner Räder des Fahrzeugs gebildet wird, indem bei einem Kriterium ESK 10
abhängig von der Größe MULT und der Größe DIFF überwacht wird, ob es einen Grenzwert überschreitet.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

1

Fig. 1

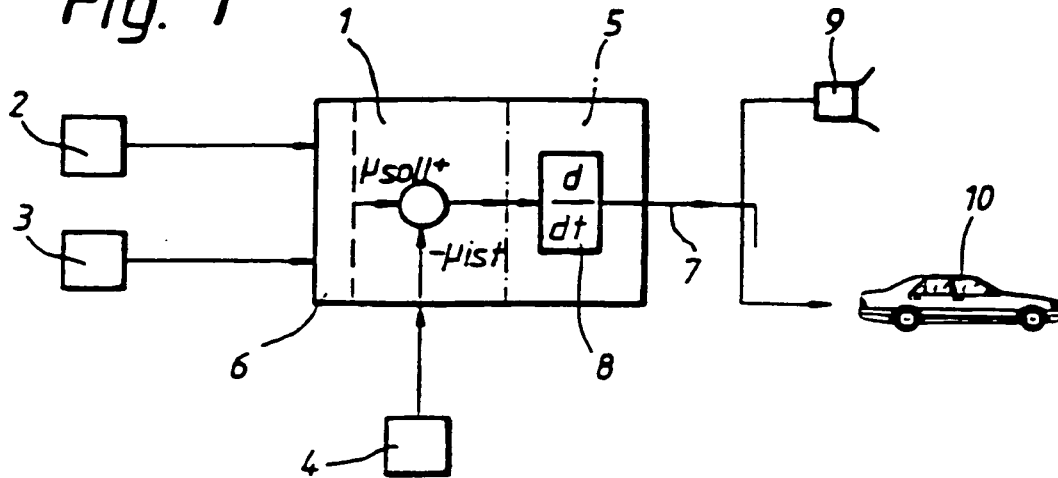


Fig. 2

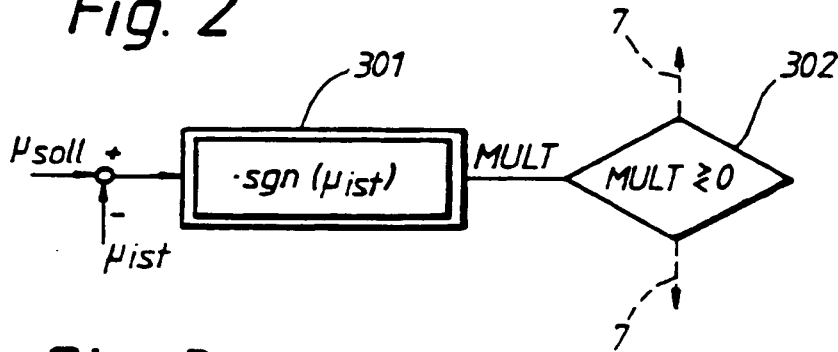


Fig. 3

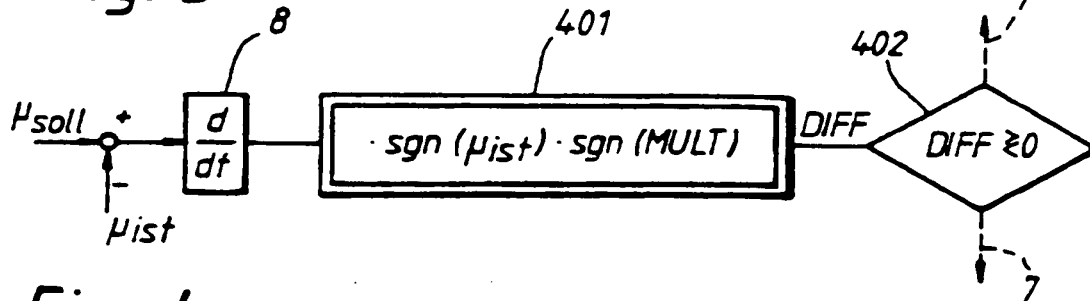


Fig. 4

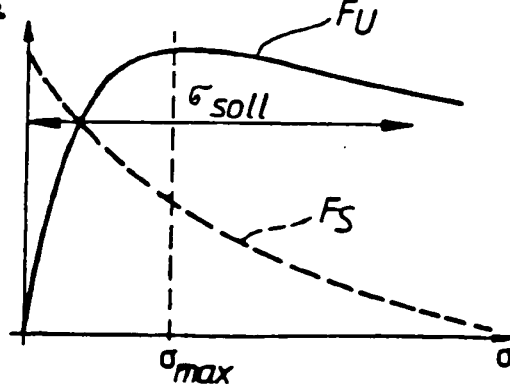


Fig. 5

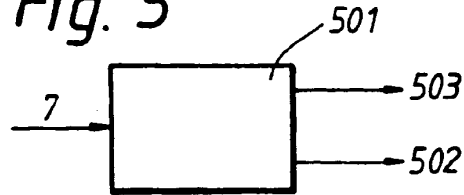


Fig. 6

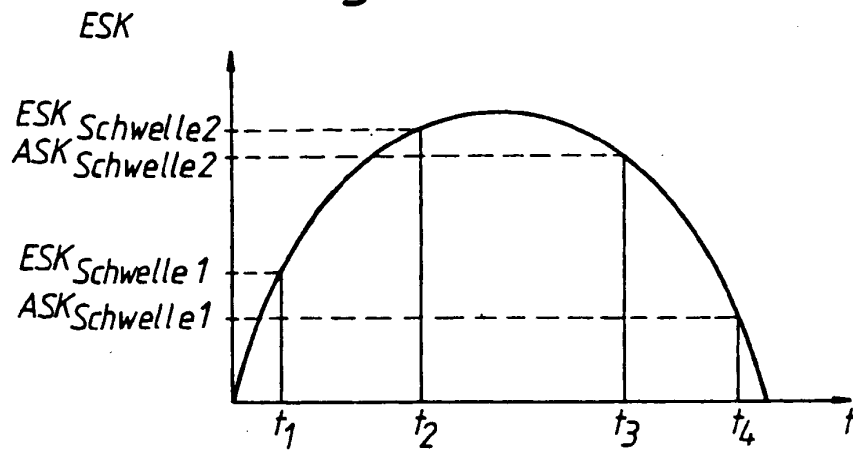
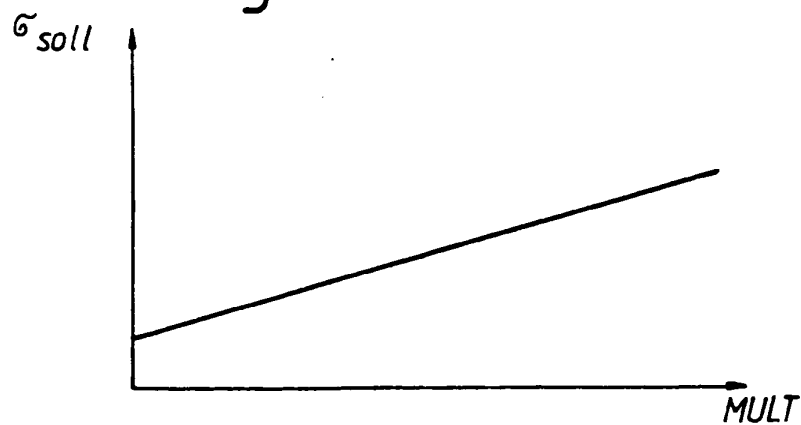


Fig. 7



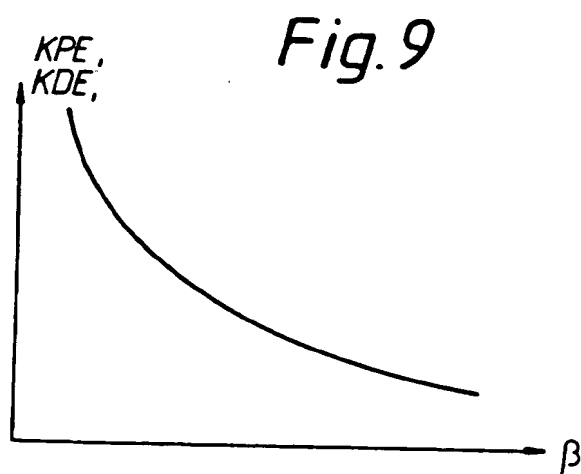
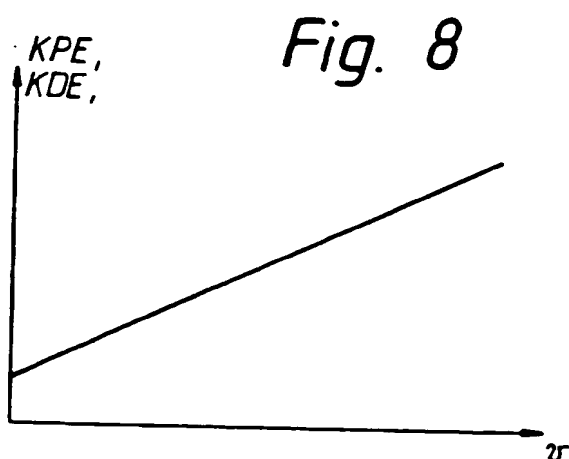


Fig. 12

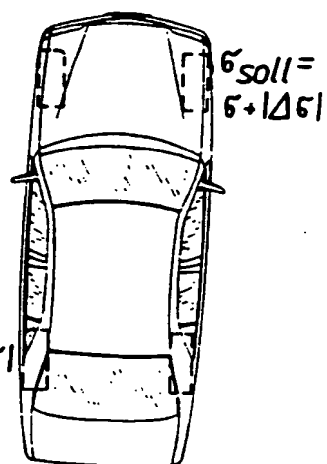


Fig. 11

